

М. Н. Сорокин, О. В. Шевяков

Математические основы
селективной сборки
изделий по методу
межгрупповой
взаимозаменяемости

МОСКВА
«ИННОВАЦИОННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ»
2022

УДК 621.717

ББК 30.606

С 65

Сорокин М.Н., Шевяков О.В.

С 65 Математические основы селективной сборки изделий по методу межгрупповой взаимозаменяемости. М.: Инновационное машиностроение, 2022. 192 с. ил.

ISBN 978-5-907104-90-7

Изложены математические основы теории селективной сборки — метода сборки, основанного на межгрупповой взаимозаменяемости. Приведены сведения о выборе параметров сборки, причинах образования незавершенного производства, способах его ликвидации. Рассмотрена возможность применения селективной сборки на базе метода межгрупповой взаимозаменяемости при различных способах ее реализации в различных отраслях промышленности. Селективная сборка изделий по методу межгрупповой взаимозаменяемости может применяться для сборки любых изделий, состоящих из деталей с несколькими сопрягаемыми параметрами и с несколькими параметрами сопряжений. Главное ее достоинство — это возможность создать автоматические установки, где будут интегрированы операции измерения, комплектования и сборки изделий при условии полной собираемости изделий и минимальном допуске на параметр сопряжения. Получено уравнение сопряжения в номерах селективных интервалов сопрягаемых параметров. Определена структура множества путей комплектования при селективной сборке изделий типа «подшипник».

Книга предназначена для конструкторов и технологов машиностроительных заводов, проектно-конструкторских и технологических организаций.

УДК 621.717

ББК 30.606

ISBN 978-5-907104-90-7

© М.Н. Сорокин, О.В. Шевяков, 2022

© ООО «Издательство «Инновационное машиностроение», 2022

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, опубликованных в данной книге, допускаются только с разрешения издательства и со ссылкой на источник информации.

Оглавление

Введение.....	5
ГЛАВА 1. Метод межгрупповой взаимозаменяемости для решения уравнения сопряжения	7
1.1. Относительная, ортонормированная система полей допусков.....	7
1.2. Методы сборки изделий	11
ГЛАВА 2. Целенаправленное суммирование двух случайных величин ξ_1 и ξ_2.....	23
2.1. Функция совместной плотности распределения двумерной случайной величины ξ	23
2.2. Сумма двух случайных величин ξ_1 и ξ_2	26
2.3. Задача Монжа—Канторовича	30
2.4. Задачи целенаправленного суммирования двух случайных величин ξ_1 и ξ_2	33
2.4.1. Первая задача целенаправленного суммирования случайных величин ξ_1 и ξ_2	33
2.4.2. Вторая задача целенаправленного суммирования случайных величин ξ_1 и ξ_2	36
2.4.3. Третья задача целенаправленного суммирования случайных величин ξ_1 и ξ_2	39
2.4.4. Четвертая задача целенаправленного суммирования случайных величин ξ_1 и ξ_2	42
ГЛАВА 3. Математическая постановка двухпараметрической задачи комплектования при решении задачи сопряжения методом межгрупповой взаимозаменяемости	46
3.1. Определения и обозначения.....	46
3.2. Математическая постановка задачи комплектования деталей при селективной сборке	51
изделий «вал—штулка».....	51
3.2.1. Первая задача комплектования	51
3.2.2. Вторая задача комплектования	56
3.2.3. Третья задача комплектования	57
3.2.4. Четвертая задача комплектования	59
3.3. Представление и постановка двухпараметрической задачи комплектования как транспортной задачи.....	63

3.3.1. Первая дискретная задача комплектования как транспортная задача	66
3.3.2. Вторая дискретная задача комплектования как транспортная задача	68
3.3.3. Третья дискретная задача комплектования как транспортная задача	70
3.3.4. Четвертая задача комплектования как транспортная задача	72
ГЛАВА 4. Методы решения дискретной двухпараметрической задачи комплектования.	75
4.1. Первая дискретная задача комплектования	75
4.2. Вторая дискретная задача комплектования	82
4.3. Третья дискретная задача комплектования	84
4.4. Четвертая дискретная задача комплектования	92
4.5. Решение задачи комплектования для малой партии деталей	98
ГЛАВА 5. Собираемость двухпараметрической задачи комплектования . . .	103
5.1. Мера близости функций плотности распределения сопрягаемых параметров деталей	103
5.2. Свойства задачи комплектования.	108
ГЛАВА 6. Трехпараметрическая задача комплектования.	125
6.1. Математическая постановка задачи комплектования	125
при селективной сборке изделий «подшипник»	125
ГЛАВА 7. Метод перераспределения сборочных комплектов для решения задачи комплектования при селективной сборке изделий «подшипник».	137
7.1. Решение трехпараметрической задачи комплектования в общем виде.	137
7.2. Решение трехпараметрической задачи комплектования при симметричных законах распределения сопрягаемых параметров.	148
7.3. Решение трехпараметрической задачи комплектования при произвольных законах распределения сопрягаемых параметров	161
ГЛАВА 8. Комплектование деталей при селективной сборке шарикоподшипников	175
8.1. Анализ схем комплектования при селективной сборке шарикоподшипников	175
8.2. Метод комплектования подшипников	179
на основе теории целенаправленного суммирования	179
8.3. Представление радиального зазора прецизионного подшипника как случайной величины	182
Список литературы	189

Введение

Сборка изделий — один из важнейших этапов процесса изготовления изделий, при котором определяются основные функциональные характеристики изделий.

Впервые селективная сборка была применена для сборки высокоточных изделий (систем питания двигателей внутреннего сгорания, питателей в гидравлических системах, шарикоподшипников) в 30-е годы прошлого века.

Селективная сборка — реализация метода групповой взаимозаменяемости для решения уравнения размерных цепей. Главный недостаток селективной сборки по методу групповой взаимозаменяемости — наличие незавершенного производства. Этот недостаток мешал селективной сборке занять достойное место в производстве высокоточной продукции. Однако в 1976 г. для решения уравнения размерных цепей был предложен метод межгрупповой взаимозаменяемости.

Суть нового метода заключается в том, что длина селективного интервала поля допуска звена размерной цепи выбирается минимальной. В этом случае задача получения сборочных комплектов (выбор путей комплектования и числа сборочных комплектов на них), т.е. задача комплектования представлена как задача целенаправленного суммирования случайных величин, как задача Монжа—Канторовича с индикаторной функцией стоимости.

В настоящее время разработаны методы решения двух- и трехпараметрической задач комплектования. Это открывает большие возможности для применения селективной сборки в промышленности.

Ярким примером применения селективной сборки по методу межгрупповой взаимозаменяемости служит сборка подшипников. При этом обеспечивается полная собираемость изделий, формализация всех производственных процессов, связанных с комплектованием сборочных комплектов, получение фиксированного радиального зазора.

По сравнению с методом полной взаимозаменяемости точность получения допуска замыкающего звена трехпараметрической задачи комплектования повышена в 8—10 раз. Однако необязательно применять селективную сборку, чтобы повысить существенным образом точность замыкающего звена.

Селективная сборка по методу межгрупповой взаимозаменяемости может быть применена и в случае, когда точность замыкающего звена нужно повысить, например в 2—3 раза.

В настоящее время селективная сборка реализуется на основе метода межгрупповой взаимозаменяемости для решения уравнения размерных цепей.

Селективная сборка относится к наукоемкому технологическому производству. Для расчета технологического процесса селективной сборки изделий требуются знания теории вероятностей и математической статистики, теории планирования эксперимента, теории математического моделирования. Также необходимо знать задачу Монжа—Канторовича, линейное программирование, теорию графов и теорию транспортных сетей.

Большую роль в советское время в развитии теории и внедрении в производство селективной сборки по методу межгрупповой взаимозаменяемости сыграл Центральный научно-исследовательский институт топливной аппаратуры, его сотрудники Королев А.В. и Бененсон А.Б. Внедрением селективной сборки по методу межгрупповой взаимозаменяемости в оборонной промышленности успешно занимались Бандуркин Л.П., Козырев Ю.И.

В каждой естественной науке заключено столько истины, сколько в ней есть математики.

Иммануил Кант

Г Л А В А 1

Метод межгрупповой взаимозаменяемости для решения уравнения сопряжения

1.1. Относительная, ортонормированная система полей допусков

В машиностроении и приборостроении при конструировании машин и механизмов важное место занимают расчеты размерных цепей, которые определяют связь деталей при сборке изделия. Основной размерной цепью в машиностроении является многозвенная размерная цепь. Замыкающее звено определяет значение многозвенной размерной цепи. Многозвенная размерная цепь состоит из составляющих звеньев. Замыкающее звено и составляющие звенья связаны между собой уравнением многозвенной размерной цепи:

$$y = x_1 + x_2 + \dots + x_n, \quad (1.1)$$

где x_i — составляющее звено, $i = \overline{1, n}$; y — замыкающее звено.

Уравнение (1.1) справедливо не только для значений составляющих звеньев, но и для отклонений составляющих звеньев, заданных допусками составляющих звеньев.

Коэффициенты при составляющих звеньях чаще всего равны единице.

Звенья размерной цепи назовем сопрягаемыми параметрами, уравнение размерных цепей — уравнением сопряжения, замыкающее звено — параметром сопряжения.

Введение новых терминов связано с тем, что вопросы обеспечения точности замыкающего звена, параметра сопряжения